

世界导电塑料工业化进展

威亚光

(常州轻工职业技术学院,常州 213164)

摘要 介绍了用于导电塑料制造的新型导电添加剂如导电炭黑、碳纳米管、导电钛酸钾晶须、纳米石墨微片等的工业化开发与应用。重点综述了具有高性能特殊用途的导电塑料品种、本征导电型及离子导电型塑料合金技术、母料技术等的工业化进展。列举出许多国际知名厂商的相关新产品牌号,为导电塑料新产品开发提供参考。

关键词 导电塑料 导电添加剂 本征导电聚合物 离子导电聚合物

随着科学技术的进步与塑料工业的发展,塑料已逐渐被广泛地应用于各行业,但其固有的电绝缘性使塑料制品易于积累静电荷而形成较高的静电电压,造成灰尘及其它污物吸附、产生静电放电(ESD)与电击现象,使得一些静电敏感材料(如微电子元件、集成电路、轻质油品、火药等)的生产和使用、处于易燃易爆气氛中的工矿企业受静电的危害越来越突出。另一方面,微电子工业的高速发展,导致了电磁波干扰(EMI)和射频干扰(RFI)等新的“环境污染”。越来越小型化、轻量化、数字化、高密度集成化及灵敏度越来越高的现代电子元器件很容易受到这种复杂电磁环境的影响,甚至产生误动作、出现图像障碍以及声音障碍等。因此,静电放电的电磁效应、微电子设备相互间EMI及电磁兼容性(EMC)问题越来越受到人们的重视。对许多应用场合中的塑料制品,人们不仅要求其有良好的综合性能,而且还要求其具有一定的导电性能,以提供良好的防静电性(或静电耗散性)或EMI/RFI屏蔽性能。尤其是欧盟发布的CE认证指令与新的电磁兼容指令,进一步刺激了世界导电塑料在工业生产与应用方面的发展。近年来,全球导电塑料需求稳步增长。据欧洲商业通讯公司(BCC)最新研究报告显示^[1],2006年全球导电塑料消费量比2005年增长了10%,从7万t增加到7.75万t。在需求增长的同时,用于导电塑料制造的新型导电添加剂、母料技术、本征导电及离子导电塑料合金技术取得了重要的工业进展,获得了商业化应用,也使以往在导电塑料制造方面遇到的一些难题得到了解决。

1 新型导电添加剂的工业化开发与应用

1.1 本征导电聚合物包覆炭黑

导电炭黑(包括普通导电炭黑、超导电炭黑、特导电炭黑)一直是制造导电塑料的主要添加剂。但是以通常的导电炭黑制备导电塑料,在渗滤区存在电阻率的突降现象。渗滤区的表面电阻率范围通常跨越 $10^4 \sim 10^9 \Omega$ 6个数量级。炭黑量、工艺装备与工艺条件的稍微变动都会引起电阻率在数量级上的变化。尤其是在 $10^6 \sim 10^9 \Omega$ 范围内较难得到电阻率稳定、一致的制品,即在此电阻率范围内重现性差。而这一电阻率范围对于静电防护制品而言是极为重要的。为了提供能准确调节电阻率的静电防护塑料用新型导电炭黑,芬兰的Eonox公司以原位聚合方式使本征导电聚合物(ICP)

沉积到炭黑颗粒上,开发出商品名为Eonomer的新型导电添加剂^[2]。Eonomer在低于360℃有较好的热氧化稳定性,在当今工业应用的大多数热塑性塑料与热固性塑料的加工中使用都不会降解,也不会引起导电性损失。ICP包覆的炭黑复合物减小了炭黑的比表面积和孔隙率,改善了与聚合物的相容性,材料的熔体流动性能与力学性能得到提高,制品也不易发生起皮现象。最为重要的是,ICP包覆的炭黑复合物使人们能方便地控制所期望的电阻率并有良好的电阻率重现性。Eonomer本身的性能可以通过合成过程实现多种多样的变化,如所包覆的导电聚合物的量与品种、酸度与缔合的搀杂剂离子、炭黑的品种或换用其它载体^[3]等,调整其导电性及渗滤区电阻率跨度范围,以广泛地满足用户需要、满足对配料及最终制品的严格要求。Eonomer的典型牌号有Eonomer 700系列与Eonomer 800系列。

1.2 碳纳米管

碳纳米管(CNTs)及其复合材料是目前材料科学领域的研究热点之一,在许多领域有着广泛的应用前景。CNTs可视为石墨中一层或若干层碳原子卷曲而成的管状纤维,内部是空的,直径只有几到十几纳米,分单壁和多壁两种类型。近年来,用CNTs制造的导电塑料已经实现了商品化,并在诸如电子工业、汽车工业等领域获得了越来越多的应用。作为导电添加剂,CNTs有着独特的优点^[4],如典型的添加多壁碳纳米管(MWNTs)的导电热塑性工程塑料的电导率达到渗滤阈值时,MWNTs的用量仅为导电炭黑的10%。在热固性塑料如环氧树脂中使用时的情况与此类似,但需要的添加量还可以更低。显然,CNTs的超大长径比($L/D > 1000$)极有利于形成三维网状结构的导电通道。较低的添加量赋予材料许多优点:如较好的加工性及制品表面光洁度;减轻脱皮现象;减小成型收缩与变形;保持较好的力学性能与塑料的原有性能等。这些优点使得以MWNTs为导电添加剂的导电塑料与添加高导电炭黑、碳纤维的导电塑料相比,在性价比、实现高性能方面富有竞争力,尤其适用于那些有独特性能要求、通常难以达到产品使用要求的场合。

由于CNTs的优良性能,人们对其需求量将越来越大,

并且也不再会受生产方面的制约。Hyperion Catalysis International、Bayer、Arkema、Nanocyl等多家国际知名公司已经实现了CNTs的规模化生产,如Hyperion Catalysis International公司的FIBRILTM nanotubes、Bayer公司的Baytubes-C150P、Arkema公司的GraphistrengthTM C100系列、Nanocyl公司的Nanocyl 7000系列等。据不完全统计,2004年全球共生产了65 t CNTs,价值约1.44亿英镑,到2010年,该值将会超过30亿英镑,年递增率超过60%。并且在未来的几年中,价格将会大幅度下降。因受能源市场大多数用途方面的影响,MWNTs与碳纳米丝于2008~2009年将突破价格障碍,开始与现时的材料技术相竞争^[5]。

在CNTs获得工业化生产的同时,国际上著名的改性塑料制造商如Permixon Thermoplastics、PolyOne、GE Plastics/LNP、RTP等公司开发了各种添加CNTs的导电工程塑料^[6]。

1.3 钛酸钾晶须

钛酸钾晶须($K_2O \cdot nTiO_2$)具有稳定的化学性质、优异的隔热性、耐磨性,其红外反射率高,高温下导热系数极低,其力学性能远优于常用的玻璃纤维、碳纤维,用于复合塑料可大大提高制品的尺寸稳定性及精度。对其表面进行导电处理可得到导电性钛酸钾纤维,可用于各种导电塑料制品。近年来,日本大塚化学株式会社开发出了导电性钛酸钾晶须纤维,其商品名为Dentall。它是在该公司所生产的钛酸钾纤维(商品名为TISMO)的基础上,经过表面导电处理而制成的。平均纤维直径在0.3~0.7 μm ,平均纤维长度为10~20 μm ,除具有TISMO的极细纤维特性外,同时还保持了优秀的增强特性,并具有稳定的电阻值。Dentall有白色系列(WK)和黑色系列(BK)2种,可根据用途不同而区别使用。白色系列(WK)适用于重视表现制品创意性的外装材料,黑色系列(BK)适用于要求有导电性能的构造件、机构部件。用导电性钛酸钾纤维Dentall制备导电塑料,除了可得到均匀、稳定的导电性能外,还具有一系列宝贵特性,如对细微部分的增强性、良好的摩擦磨损性、成型加工性能好、极佳的表面平滑性、良好的尺寸精度和稳定性、高温环境下具有良好的导电稳定性等。导电性钛酸钾纤维Dentall的典型应用包括打印机、复印机中的零部件等^[7]。

1.4 纳米石墨

石墨是自然界中最具刚性的层片状材料,并有优良的导电与导热性。然而以往利用微米级石墨填充塑料,石墨的添加量必须很高,常常要达到30%以上才能满足导电性的要求,且会使得力学性能与塑料的其它原有性能受到很大损失。随着纳米技术的发展,人们可利用纳米技术制备纳米石墨微片与树脂基体复合的导电塑料。以适当的表面处理,经过插层、高温膨胀、粉碎、剥离后的石墨纳米微片,可以在热固性或热塑性树脂基体中得到良好分散,成为既具有良好的电性能,又具有优异的力学性能、热性能与阻隔性能的高性能材料。石墨的纳米分散技术开拓了石墨在许多结构材料与功能材料中的新用途。石墨经高温膨胀、超声粉碎、插层聚合

或聚合物插层,其片层被剥离导致片状石墨粒子具有巨大的径厚比,均匀分散在树脂基体中时,使得该复合材料具有高导电性能,可大大降低导电复合材料的渗滤阈值。

虽然对纳米石墨微片与树脂基体复合的导电塑料的实验室研究已有多年,但工业规模的生产还是近年的事,尤其是为了获得在塑料中的广泛应用,人们一直在试图降低生产成本。最近,美国密歇根州立大学的L. T. Drzal^[8]教授等开发出了低成本生产纳米石墨微片及其在塑料中分散纳米石墨微片的技术。纳米石墨微片的厚度为5~10 nm,添加2%就能达到2%~5%纳米蒙脱土的效果,但用纳米蒙脱土得不到诸如导电性、导热性等功能特性。并且,用该技术生产的纳米石墨微片成本将低于\$5/磅。L. T. Drzal已经申请了对该生产技术的专利^[9],并正在着手寻找有意向受让该专利技术的合作企业,组建生产纳米石墨微片的公司。

2 新的导电性工程塑料牌号不断涌现

2.1 满足欧盟CE指令与新的电磁兼容指令的导电塑料品种

为使产品进入欧洲市场,各国出口企业都必须遵守欧盟CE指令,这无疑对产品提出了严格的技术要求。尤其是对一些在有潜在爆炸性的环境中使用的装置,必须保证其不产生静电放电、冲击感应电弧或其它电火花源,以使产品满足Atex指令与89/686/EEC指令。近年来欧盟还对电磁兼容指令作了修订,出台了新的电磁兼容指令(2004/108/EC)与汽车电磁兼容指令(2004/104/EC)。由此,在静电防护与电磁辐射防护材料领域的竞争进入了白热化阶段,国际上发达国家,特别是美国、加拿大、德国、日本等国已经形成了生产各种类别、系列规格的导电塑料材料产业。

RTP公司开发了一系列满足ATEX指令(94/9/EC)与EN 50014、EN 50018的导电塑料,其制品符合使用于有潜在爆炸性危险场合的设备塑料的要求。其中,塑料的品种包括RTP 100 Series PP、RTP 2500 PC/ABS合金^[10];Cabot公司推出了高冲击强度型的导电PP材料,牌号为Cabelec XS4865,它遵循了欧盟ATEX 95 and ATEX 137指令。与现在市场上的导电复合材料相比,这种新的材料不仅能提供更高的冲击性能,而且流动性很高,其熔体流动速率在230℃/5 kg条件下可以达到10.2 g/10 min。因此,它可以采用标准的注塑机生产复杂零件^[11]。GE Plastics/LNP所开发的Faradex DS-1003 FR Hi对电磁辐射有很好的屏蔽功能,能达到20~60 dB的EMI衰减效果,满足大多数的电子与通讯设备。这一新的品级是专为获得不锈钢纤维在模制过程中的均匀分散而配制的,有助于保持纤维长径比以取得较佳的电磁屏蔽所需要的导电网络。

2.2 特殊功能与用途的导电塑料品种

为了满足一些特殊场合对塑料的导电性能要求,一些特殊牌号导电塑料品种应运而生。Techmer Lehigh Compounds (TLC)公司开发了导电的聚苯硫醚(PPS)与聚酰胺(PA6)并投放市场,最新推出的还有商品名为Electrafil的导电热塑

性塑料^[12]。该系列所用的基础树脂主要有 PA、聚碳酸酯 (PC)、聚苯醚 (PPO)、(丙烯腈/丁二烯/苯乙烯) 共聚物 (ABS) 等, 导电填料采用炭黑与碳纤维, 是一类优良的高性能工程材料, 用于需要静电防护与抗电磁干扰的场合, 如汽车仪表板、微电子产品外壳、燃油过滤器罩等。有些牌号的 EMI/RFI 屏蔽效果高达 60 dB, 有些则达到 UL 94V-0 的阻燃等级 (如 Electrifi ABS-1200/SD/FR)。

Premix Thermoplastics 公司新推出了以共聚甲醛为基体的静电防护材料^[13] Pre-Elec 12-031 及其它同系列牌号, 它们具有良好的耐化学药品性、韧性、低的摩擦系数与防静电性。其中有些新牌号具有良好的着色性能。

GE 塑料为了优化 PPO/PA 塑料部件的粉末涂装工艺, 通过添加导电填料开发了商品牌号为 Noryl GTX 674PC 的导电性 PPO/PA, 确保粉末涂装过程中的静电吸引力。该材料能耐现今粉末涂装工艺中的固化温度, 涂装前不需要静电底漆, 也不需金属制件那样的化学除油, 只要在粉末涂装前清洗即可。由 Noryl GTX 674PC 模塑成型的塑料制品还可以与金属件一同涂装, 以减少成本并避免色差^[14]。RTP 公司则在其原有的许多系列 (从 100 系列到 4300 系列) 改性材料中, 增添了可静电喷涂的“新成员”。

Arkema 公司为了顺应汽车标准 SAE J1645, 提升汽车燃油线路与系统抑止火花、增大旅客安全性, 在 PA11 与 PA12 系列中, 增加了导电新品种^[15]: Rilsan PA11 M-BESN Blk P212 CTL 与 Rilsan PA12 AESN Blk P212 CTL, 它们的体积电阻率为 $10^7 \Omega \cdot$ 数量级。

RTP 公司新增了导电纤维复合塑料的产能, 并扩大了产品的品种范围。其中包括在总部附近增设导电纤维复合塑料生产线的新厂, 在世界各地的几个生产厂增设生产线, 树脂品种除了 PP 与 PA 外, 也扩展到聚对苯二甲酸丁二酯 (PBT)、聚对苯二甲酰对苯二胺 (PPA)、聚醚醚酮 (PEEK) 等高性能工程塑料^[16]。

最近, 对燃料电池双极板用导电塑料复合材料的工业化开发十分活跃, 在一些工业发达国家已经由研究转入规模化生产。ZBT GmbH 公司已经实现了塑料燃料电池双极板的大规模生产, 其电导率达到 70 ~120 S/cm。Cheil Industries 公司所开发的燃料电池双极板材料 (由 PPS 与石墨填料组成) 取得了世界专利权^[17]; 英国一家专门从事燃料电池双极板材料开发的机构 Bac2 最近取得了新的突破, 他们以一种享有专利权的 ElectroPhen 与导电填料组成双极板材料, ElectroPhen 是一种在室温下能够固化的热固性导电聚合物^[18]。该技术大幅提高了双极板材料的电导率, 达到了 500 S/cm。Bac2 的这一技术正在实现商品化。

3 本征导电型与离子导电型塑料合金快速被市场接受

据 BCC 最新研究报告, 目前在全球市场占统治地位的导电塑料材料仍是填充导电添加剂如炭黑、碳纤维的塑料, 但一些 ICP 如聚 吩和聚苯胺 (PANI) 等正在快速被市场接受。预计到 2011 年, ICP 市场需求量将达到 2 400 t, 比目前

增长 1 倍以上。另外, 聚电解质型的永久型抗静电塑料合金也获得了越来越多的应用。

3.1 本征导电型塑料合金

ICP 是由具有共轭 π 键的聚合物经化学和电化学“掺杂”后形成的, 通过“掺杂”使其电导率从绝缘体范围转入导体范围。在 ICP 的热氧化稳定性、熔融加工性等问题尚未能得到有效解决时, 以 ICP 的熔体加工制造导电塑料制品的产业化进程缓慢。近年来 ICP 塑料合金的工业开发表明, ICP 与普通树脂制成共混合金是实现 ICP 商业化的优良途径。所得的 ICP 导电塑料合金具有导电性在大范围内可调、力学性能好、易加工成型、可着色性及可制成透明材料等特点。ICP 塑料合金的许多优点引起国际上著名厂商进行工业开发。目前, 国际上在生产 ICP 方面占主导地位的厂商^[19] 有 Bayer MaterialScience、Ormecon、Panipol 与我国的吉林正基科技有限公司。但在实现 ICP 熔体加工方面, Panipol 公司具有领先地位。在 ICP 塑料合金的工业化生产方面, 占主导地位的有 Panipol、GE Plastics' LNP、Noveon、RTP 与 Premix。

Panipol 公司生产的 Panipo 导电 PANI 可以单独使用, 也可以和许多普通树脂进行共混改性, 如聚乙烯 (PE)、PP、聚苯乙烯 (PS)、软聚氯乙烯 (PVC)、聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 及热塑性弹性体如 (苯乙烯/乙烯-丁烯/苯乙烯) 共聚物 (SEBS) 等。其应用领域包括: 电子工业上的注射成型的防静电产品、防静电膜、电致变色汽车后视镜, 建筑工业上的电致变色“智能”窗户及防静电地板、工作台, 纺织工业上的导电织物等。近年来, Panipol 公司推出了供热塑性成型加工的导电 PANI 系列 ICP 塑料合金, 如 Panipol CX, 其中又分为注塑级 CXH、吹膜级 CXM、挤出级 CXL 3 个级别。

RTP 公司采用 Panipol 公司的技术开发了多个系列 ICP 塑料合金, 如 ICP100 PP、ICP100 HIPPI、ICP400 HIPS、ICP700 HDPE、ICP700A LDPE 等系列。这些 ICP 型导电塑料合金的表面电阻率为 $1 \times 10^6 \sim 1 \times 10^9 \Omega$ 。与炭黑填充相比, ICP 导电塑料合金的电阻率在此范围内随 ICP 的含量基本呈线性变化, 所以也比较容易得到电阻率稳定而又重现性好的导电塑料制品。

在欧洲处于领先地位的导电塑料生产商 Premix Oy 公司通过添加 ICP 推出了高洁净度注塑级导电 PP 塑料合金 PRE-ELEC ESD 5500, 该牌号可用于生产注塑包装产品, 主要应用在硬盘驱动器行业中。它具有优异的电性能, 符合 EOS/ESD S20.20-1999 和 IEC 61340-5-1 对包装材料规定的标准。PRE-ELEC ESD 5500 在湿度极低的环境下表面电阻率仍然达到 $10^8 \Omega$ 数量级, 具有永久抗静电的能力, 因此它可使用在电子包装领域中, 避免敏感电子元件受到 ESD 的破坏^[20]。

3.2 离子导电型 (本征耗散型) 塑料合金

这类塑料合金通常以嵌段聚醚酰胺或嵌段聚醚酯等离子导电聚合物 (IDP) 为主要组分, 具有一定的离子传导性。IonphasE、Arkema、Noveon、RTP 等公司都是这类聚合物及其

塑料合金的主要厂商。2001年才成立的芬兰 IonphasE 公司近年来一直致力于开发新系列的 IDP 材料,该公司以其专利技术^[21-22]新近开发的被称为下一代 IDP 的本征耗散型导电塑料合金,其商品名为 IonPhase IPE。该材料具有使离子沿聚合物链传导的三维互穿网络结构(IPN),因此具有永久抗静电性,且不随环境湿度而变化,力学性能好,可以和常用塑料共混,其产品系列已发展到各种常用的树脂与热塑性弹性体品种,如 PE、PP、烯烃共聚物、PS、HIPS、ABS、ABS/PC、(丙烯腈/苯乙烯/丙烯酸酯)共聚物(ASA)、PMMA、PA、TPE、TPEE、TPU、SBS、SEBS 等。在防止静电危害方面,这类合金主要用于对表面电阻率要求为 $10^9 \sim 10^{11} \Omega$ 数量级的制品。在此电阻率范围,制品电阻率有较好的重现性。在成型加工方面,可使用常规塑料加工设备与技术,如挤出吹塑薄膜、挤出流涎薄膜、注射成型、挤出片材、挤出管材、线缆挤出包覆、吹塑成型、纺丝等。

Arkema 公司所开发的嵌段聚醚酰胺 Pebax MH 1657/MV 1074,可与各种热塑性基体材料复合,形成表面电阻率为 $10^9 \sim 10^{12} \Omega$ 数量级的永久型抗静电的塑料与热塑性弹性体合金。为有利于在各种不同基体材料中形成良好的共混分散而获得较佳性能的合金材料,可加入 Arkema 公司所开发的系列分散剂产品^[23]。

RTP 公司开发了以 PermaStat 为商品名的 IDP 导电塑料合金,在 RTP 200A、RTP 2500、RTP 1800、RTP 600 等系列中,都有 PermaStat 的“成员”,涉及树脂品种包括 PMMA、ABS、PC、PC/ABS、聚甲醛、PA 等^[24]。

4 母料技术使高性能导电塑料制品生产更便捷

4.1 不锈钢纤维母料

不锈钢纤维(SSF)是20世纪80年代才得到开发与应用的一种新型导电纤维材料,具有优良的导电性。但如何使 SSF 在树脂基体中得到均匀的分散,并保持纤维在成型后的复合材料制品中仍有较大的长径比,从而尽可能有效地提高导电性与力学性能,成为制备这类热塑性导电塑料的关键。母料法是解决这一问题的有效方法。该方法是将 SSF 与热塑性树脂制成纤维含量较高的母料,在成型时再与其它树脂混合,这样就可避免像混炼法那样容易折断纤维,且由于纤维长度较大,在低填充量情况下可获得较好的导电性能和屏蔽效果。北京纳盛通新材料科技有限公司经过多年科研攻关,在国内首先突破专有设备的技术创新改造,采用母料法工艺技术开发并生产了具有抗静电性能和 EMI 性能的 SSF 填充热塑性导电塑料,并申报了两项国家发明专利^[25]。

国际上 3N International 公司成功地实现了 SSF 导电塑料母料的商品化^[26],其商品牌号为 3N EMI-Shield™,该母料是由直径十分微细的、短切 EMI-Shield™SSF 与聚酯组成,可添加到 ABS、E/VAL、PA、PC、PE、PA、PBT、PET、PPS、PPO 中以制备导电塑料。

4.2 CNTs 母料

利用 CNTs 优良的导电性及超大长径比,使得达到渗滤

阈值形成连续导电网络所需要的浓度显著下降。但是超大长径比也使得 CNTs 易扭结成团而难以分散。要使 CNTs 充分显示其特性,首先需要解决其分散问题。为了确保 CNTs 分散的均匀性与实现复合材料的高性能化,Zyrex 公司开发了一种新的多功能化表面处理技术(专利技术 Kentera™),优化 CNTs 与聚合物基体间的相互作用,实现 CNTs 的良好分散^[27]。利用这一技术,也可按需要制备专用于某一聚合物基体的 CNTs 母料。Nanocyl 公司作为 CNTs 生产的著名厂商,同时也开发了热塑性塑料/CNTs 母料,商品名为 Plas-tiCyl™。目前,PlastiCyl™有2个型号,即 PC1501 与 PA2001。PC1501 以 PC 为载体树脂,MWNTs 质量分数为 15%;PA2001 以 PA66 为载体,CNTs 质量分数为 20%。此外,Hyperion Catalysis International、Premix Thermoplastics、Nanosperse 等公司也都开发了类似的母料技术。

4.3 本征导电与离子导电塑料合金母料

无论是本征导电塑料合金还是离子导电塑料合金,都具有互穿网络结构,其中导电聚合物呈现为三维网状分布而形成导电通道。在形成导电塑料合金时,导电聚合物是否能达到良好的网状分散结构是一重要的工艺问题。为谋求问题的解决,拓展这类塑料合金的应用,ICP 生产商 Panipol 公司与 IDP 生产商 IonphasE 公司都发展了母料技术,向用户提供母料以方便使用。Panipol 公司不仅开发了通用型的注射成型与片材挤出成型用母料 Panipol DXH 与 Panipol DXM,而且新开发了专用于 PP 注塑、PP 挤出、PS 挤出用母料^[28],其牌号分别是: PANIPOL DXH PP、PANIPOL DXM PP 与 PANIPOL DXM PS。其中 PANIPOL DXH PP 的用量为 10%~18% 时,相应的表面电阻率为 $1 \times 10^{10} \sim 1 \times 10^5 \Omega$; PANIPOL DXM PP 用量为 10%~16% 时,相应的表面电阻率为 $1 \times 10^{10} \sim 1 \times 10^5 \Omega$; PANIPOL DXM PS 的用量为 8%~15%,相应的表面电阻率为 $1 \times 10^{10} \sim 1 \times 10^4 \Omega$ 。通常,使用这些母料时,其最终制品的表面电阻率与母料的使用量成线性关系,容易控制并得到较为稳定的导电性能。此外,采用这些母料生产制品时都可按需要着色,制品可回收再利用。

5 结语

世界导电塑料在工业上取得的进展也推动了各行各业的技术进步。尤其是一些新型导电添加剂如 CNTs 与纳米石墨、可熔融加工的 ICP 与 IDP 的规模化生产,必将使导电塑料的应用领域进一步扩大。据 BCC 预计,到 2011 年,全球导电塑料消费量有望超过 11 万 t,年均增长速度将超过 7%。其中,本征导电型塑料合金消费量年均增长速度将超过 15.7%。同时,随着塑料芯片、平板显示器、燃料电池、太阳能电池、汽车工业、微电子工业等领域新技术的发展需要,也必将进一步推动高性能导电塑料的商业化开发与应用,推动导电塑料产业的技术进步。

参考文献

- [1] Melvin Schlechter. Electroactive Polymers[R]. Wellesley: BCC research, 2006.

- [2] Plastics Technology Group. Plastics Technology, 2006, 52 (6) : 35 .
- [3] Samir Kuma. Coated conductive carriers: US, 7223475 [P] . 2007-05-29 .
- [4] Olivier Decroly. Carbon Nanotubes: Commercial applications and trends in polymer [J/OL] . [2007-02-01] . [http: //www. special-chem polymers. com.](http://www.special-chem polymers. com.)
- [5] Tim Harper. Nanotubes for the composites market [R] . London: Ci-entifica Ltd, 2005 .
- [6] Lilli Manolis. Carbon nanotubes lots of potential-if the price is right. [2007-07-01] [http: //www. ptonline. com.](http://www.ptonline. com.)
- [7] Iizuka, et al. Base body for photosensitive drum and photosensitive drum: US, 6936389 [P] , 2005-08-30 .
- [8] Papu Maniar. National nano engineering conference 07 presentation abstracts. [2007-11-14] . [http: //www. nasatech. com/nano/ab-stracts. html.](http://www. nasatech. com/nano/ab-stracts. html.)
- [9] Drzal L T, et al. Expanded graphite and products produced there- from: US, 20060231792 [P] , 2006-10-19 .
- [10] European Plastics News Group. European Plastics News, 2006, 33 (1) : 26 .
- [11] British Plastics & Rubber Group. British Plastics & Rubber, 2006 (1) : 20 .
- [12] TLC webmaster. New FR ABS for static dissipation. [2007-10-01] . [http: //www. tlcompound. com.](http://www.tlcompound. com.)
- [13] Plastics Engineering Group. Plastics Engineering, 2006, 62 (2) : 10 .
- [14] Plastics Technology Group. Plastics Technology, 2007, 53 (1) : 25 .
- [15] Modern Plastics Editorial Staff. GM bets on non-conductive fuel pumps. [2007-02-15] . [http: //www. modplas. com.](http://www.modplas. com.)
- [16] British Plastics & Rubber Group. British Plastics & Rubber, 2006 (7) : 23 .
- [17] Hong Changmin. Composition for fuel cell bipolar plate: WO 2007/078106A1 [P] . 2007-12-07 .
- [18] High Performance Plastics Group. High Performance Plastics, 2007 (5) : 2 .
- [19] Modern Plastics Editorial Staff. Electroactive polymers charging up. [2006-01-26] . [http: //www. modplas. com.](http://www.modplas. com.)
- [20] SpecialChem. Ultra clean PP based PRE-ELEC ESD compound from premix. [2007-09-11] . [http: //www. omnexus. com.](http://www.omnexus. com.)
- [21] Nieminen, et al. Polymer blend: US, 7173091 [P] . 2007-02-06 .
- [22] Nieminen, et al. Novel polymers and method for the production thereof: WO, 2006064085 [P] . 2007-01-04 .
- [23] 郭俊敏. 金山油化纤, 2005 (1) : 53 - 58 .
- [24] Plastics Engineering Group. Plastics Engineering, 2006 (10) : 7 - 8 .
- [25] 方隼, 等. 化工新型材料, 2006, 34 (1) : 5 - 7 .
- [26] 3N International, Inc. Conductive plastic master batches. [2007-03-01] . [http: //www. 3ninc. com/conductive _ plastic _ master _ batche. html.](http://www. 3ninc. com/conductive _ plastic _ master _ batche. html.)
- [27] Marni Rutkofsky, et al. SAMPE Journal, 2005 (2) : 54 - 55 .
- [28] Panipol Oy. Latest Innovations. [2005-09-06] . [http: //www. pa-nipol. com.](http://www. pa-nipol. com.)

EVOLUTION OF WORLDWIDE CONDUCTIVE PLASTICS INDUSTRIALIZATION

Qi Yaguang

(Changzhou Institute of Light Industry, Changzhou 213164, China)

ABSTRACT The development and application of novel conductive additives such as conductive carbon black, carbon nanotube, conductive potassium titanate whisker, nano-graphite platelet, etc. Which were used in the preparation of conductive plastics were introduced. The emphases were put on high performance conductive plastics for special application, masterbatch technology, alloy technology containing inherently conductive polymer or inherently dissipative polymer, etc. Many pioneer product trademarks of internationally famous companies were enumerated, which could be reference for the exploitation of new conductive plastics products.

KEYWORDS conductive plastics, conductive additive, inherently conductive polymer, inherently dissipative polymer

高效纳米成核剂

- 属稀土类纳米材料,能在较高温下诱导高分子结晶,晶核的生成速度快,晶核细小。
- 提高高分子材料的综合性能,使材料的韧性、抗冲击性、拉伸强度、耐高低温性、耐磨性、气密封性等得到较大提高;脱模快,提高加工效率。
- 产品具有用量少、脱模快、效率高、效果好、无毒无味的优点(仅用 0.1% ~0.5%), 将给用户带来高质量的产品和良好的经济效益。
- 适用于结晶型高分子材料,如 PA6、PET、PBT、PP、PLA、POM 等。

免费样品 欢迎试用

广东惠州瑞尔化学科技有限公司

电话:0752 - 3619845, 13902628056 传真:0752 - 3619845, 2533855 [http: //www. rare-chem. com](http://www.rare-chem. com)